

PERANCANGAN *MEDICAL IMAGE WATERMARKING* MENGGUNAKAN METODE DWT-FDCUT-DCT

DESIGN OF *MEDICAL IMAGE WATERMARKING* USING DWT-FDCUT-DCT METHOD

Reza Fajar Ramadhan¹, Ledy Novamizanti, S.Si., M.T.², Sofia Saidah, S.T., M.T.³

^{1,2,3} Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹rezaframadhan@student.telkomuniversity.ac.id, ²ledyaldn@telkomuniversity.ac.id,

³sofiasaidahsfi@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Citra medis merupakan citra yang berisi informasi penting mengenai keadaan kesehatan pasien yang tidak bisa diketahui oleh orang yang tidak berkepentingan. Maka suatu citra medis harus dapat dijaga keamanan dan ketahanannya. Dalam mewujudkan hal tersebut maka dilakukan proses *watermarking*. Pada penelitian ini dirancang suatu metode *watermarking* berbasis *Discrete Wavelet Transform* (DWT), *Fast Discrete Time Curvelet Transform* (FDCuT), dan *Discrete Cosine Transform* (DCT). *Watermarking* ini akan dibagi menjadi dua proses yaitu pertama proses penyisipan yang menghasilkan suatu output dinamakan citra medis ter-*watermark* dan dilihat kualitasnya dengan menghitung SNR, PSNR dan SSIM. Kemudian proses ekstraksi yang menghasilkan output dinamakan citra *watermark* hasil ekstraksi dan dilihat kualitasnya dengan menghitung BER dan NC. Hasil dari penelitian ini adalah sistem *watermarking* citra medis dengan metode DWT-FDCuT-DCT menghasilkan nilai rata-rata terbaik yaitu SNR 39,3987 dB, PSNR 49,4819 dB, SSIM 0,9938, BER 0,0028 dan NC 0,9873 serta memiliki ketahanan terhadap serangan *noise salt and pepper* dengan *density* kurang dari 0,01, serangan filter *gaussian* dengan *sigma* kurang dari 0,5, serangan kompresi JPEG dengan *quality* diatas 75, serangan *image sharpening* dengan standar deviasi 1 dan 5 serta serangan *flipping* dan histogram *equalization*. Metode ini pun memiliki hasil lebih baik dari metode penelitian sebelumnya yang menggunakan metode DWT-DCT dan FDCuT-DCT.

Kata Kunci : Citra Medis, *Watermarking*, DWT, FDCuT, DCT.

Abstract

Medical image is an image that contains important information about patient's health that can not be known by people who are not interested. Therefore, a medical image must be protected and resilient. In realizing this, watermarking process is carried out. This watermarking using Discrete Wavelet Transform (DWT), Fast Discrete Time Curvelet Transform (FDCuT), and Discrete Cosine Transform (DCT) method. The watermarking will be processed into two parts, the first process is embedding process that produces watermarked medical image and its quality is seen by calculating SNR, PSNR and SSIM. Then the second process is extraction process that produces the extracted watermark image and its quality is seen by calculating BER and NC. The results of this study are the medical image watermarking system with the DWT-FDCuT-DCT method producing the best average values, SNR 39.3987 dB, PSNR 49.4819 dB, SSIM 0.9938, BER 0.0028 and NC 0.9873 and robust to salt and pepper noise attacks with densities less than 0.01, gaussian filter attacks with sigma less than 0.5, JPEG compression attacks with quality above 75, image sharpening attacks with standard deviation of 1 and 5, flipping attack, and histogram equalization attack. This method also has better results than the previous study using the DWT-DCT and FDCuT-DCT methods.

Keywords : *Medical Image, Watermarking, DWT, FDCuT, DCT.*

1. Pendahuluan

Citra medis merupakan suatu citra yang berisi informasi penting mengenai keadaan kesehatan pasien yang tidak bisa diketahui oleh orang lain yang tidak berkepentingan dan untuk menjaga keamanan dari data setiap pasien tersebut maka data dari pasien dapat diberi *watermark* di dalamnya [1]. Proses *watermarking* digunakan untuk menanamkan *watermark* pada suatu citra medis, maka setelah dilakukan *watermarking* menghasilkan suatu citra medis yang harus sama seperti aslinya sehingga dokter atau ahli kesehatan dapat mengetahui keadaan medis serta rekam jejak pasien [2]. Pada penelitian sebelumnya dilakukan penelitian menggunakan metode FDCuT- DCT menghasilkan imperceptibilitas, kekuatan, dan keamanan yang baik dengan nilai rata-rata PSNR diatas 45 dB [3]. Pada penelitian lain pun telah diteliti dengan metode DCT-DWT yang menghasilkan bahwa tidak ada penurunan kualitas dari citra original [1]. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan perancangan *watermarking* pada citra medis dengan menggunakan metode DWT- FDCuT-DCT untuk membandingkan hasil *watermarking* dengan metode sebelumnya.

2. Dasar Teori

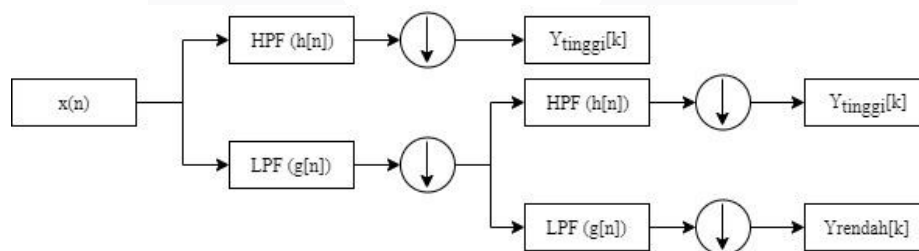
A. Watermarking Citra

Pada prinsip dasarnya penyisipan citra *watermark* pada citra penampung merupakan proses operasi *image blending*. Terdapat dua metode dalam *watermarking* ini yaitu *watermark* pada domain spasial dan *watermark* pada domain *wavelet*. Dalam domain spasial citra penampung tidak melewati proses transformasi apapun, jadi citra penampung bisa langsung disisipi dengan citra *watermark*, sedangkan dalam domain *wavelet*, citra penampung harus melewati proses transformasi terlebih dahulu menjadi domain *wavelet*, setelah itu baru dapat disisipkan dengan citra *watermark* [4].

Pada proses watermarking citra digital terdapat beberapa karakteristik penting, pertama adalah data payload, hal tersebut menjadi karakteristik penting dalam *watermarking* karena data payload menunjukkan jumlah bit yang dikodekan pada digital watermarking tersebut. Sebagai contoh watermarking mampu mengkodekan M bits pada satu satuan waktu tertentu disebut sistem watermarking M-bit. Data payload yang berbeda diperlukan lagi dalam sistem atau aplikasi yang berbeda pula. Kedua adalah *robustness* atau kekuatan dari skema *watermarking* yang digunakan mengacu pada ketahanan dari citra ter-*watermark* melawan berbagai serangan pengolahan citra digital seperti *spatial filtering*, *copying*, *cropping*, *scaling*, *compressing* dan lainnya. Ketiga adalah *Security* atau keamanan yaitu diinginkan bahwa watermark harus tetap menjadi rahasia dan tidak dapat terdeteksi oleh pihak yang tidak memiliki kewenangan. Terakhir adalah *imperceptibility* istilah *imperceptibility* mengacu pada jumlah kesamaan antara citra host dengan citra ter-*watermark*. Transparansi perseptual menjadi syarat utama dari setiap sistem *watermarking*. Dalam semua pengaplikasian *watermarking*, *watermark* disisipkan pada citra host sehingga kualitas citra host menjadi terpengaruh, maka dari itu diinginkan kualitas citra host yang tidak terpengaruh begitu besar atau dengan kata lain citra host tetap memiliki kualitas yang baik [2].

B. Discrete Wavelet Transform (DWT)

Discrete Wavelet Transform (DWT) merupakan multi-resolusi dekomposisi sebuah sinyal. DWT pun merupakan teori analisis sinyal dan merupakan metode frekuensi waktu. Prinsip dasar DWT yaitu membagi sinyal menjadi dua bagian, biasanya frekuensi tinggi dan frekuensi rendah. Selebihnya, dari koefisien DWT ini original sinyal dapat direkonstruksi ulang, proses ini disebut invers DWT (IDWT).



Gambar 1. dekomposisi wavelet diskrit

Pada gambar 1 merupakan dekomposisi wavelet diskrit dengan $Y_{tinggi}[k]$ dan $Y_{rendah}[k]$ merupakan high pass filter (HPF) dan low pass filter (LPF) yang disebut juga sebagai koefisien DWT. Proses dekomposisi ini dapat melalui satu tingkat atau lebih. Adapun persamaan dekomposisi tersebut adalah sebagai berikut:

$$Y_{tinggi}[k] = \sum_n x(n)h(2k - n) \quad (1)$$

$$Y_{rendah}[k] = \sum_n x(n)g(2k - n) \quad (2)$$

$Y_{tinggi}[k]$ merupakan hasil dari high pass filter (HPF), $Y_{rendah}[k]$ merupakan hasil dari low pass filter (LPF), $x(n)$ merupakan sinyal asal, $h(n)$ merupakan highpass filter dan $g(n)$ merupakan lowpass filter. Jika ingin dilakukan dekomposisi lebih dari satu tingkat, prosedur pada persamaan 2.2 dan 2.3 digunakan pada masing-masing tingkatan [5]. Penerapan DWT pada citra yaitu membagi citra menjadi empat sub-band yaitu LL, LH, HL, dan HH. Sub-band LL merepresentasikan frekuensi rendah pada citra sub-band LH dan HL merepresentasikan frekuensi menengah pada citra dan sub-band HH merepresentasikan frekuensi tinggi [6].

C. Fast Discrete Time Curvelet Transform (FDCuT)

Fast Discrete Time Curvelet Transform (FDCuT) diterapkan pada suatu citra untuk mendapatkan berbagai subband frekuensi. FDCuT memainkan peran penting dalam pengaplikasian *image processing* seperti merepresentasikan suatu citra menjadi sudut atau sisi [3]. Metode ini linear dan mengambil input dari *Cartesian arrays* seperti pada persamaan berikut:

$$C^D(j, l, k) := \sum 0 \leq t_1, t_2 < nf [t_1, t_2] \phi_{j,l,k} [t_1, t_2] \quad (3)$$

dimana j merupakan parameter skala, l merupakan parameter orientasi, dan k merupakan parameter translasi. Parameter skala berdasarkan pada ukuran dari citra yang digunakan dan dihitung dari $\log_2(\text{Min}(M, N) - 3)$,

dimana M dan N merupakan ukuran baris dan kolom dari citra. Kemudian parameter orientasi harus kelipatan 4 atau *default* yang biasa digunakan yaitu 16 [3].

Pada transformasi curvelet ini dibagi menjadi 2 jenis, yaitu *Unequi Spaced Fast Fourier Transform* (USFFT) *based* FDCuT dan *Frequency Wrapping based* FDCuT. Pada USFFT *based* FDCuT memiliki ukuran sampel yang tidak sama, kompleks, dan memerlukan waktu komputasi lebih sedangkan, *Frequency Wrapping based* FDCuT lebih mudah untuk diimplementasikan dan mudah dimengerti.

D. Discrete Cosine Transform (DCT)

Discrete Cosine Transform (DCT) mengekspresikan sekuensial terbatas dari poin data perihail jumlah dari fungsi cosinus yang beresilasi dalam frekuensi yang berbeda. Hal ini penting untuk banyak pengaplikasian seperti *lossy compression* untuk audio maupun citra juga untuk metode spektral untuk solusi numerik dari persamaan differensial parsial. Untuk DCT dengan ukuran blok (M x N) [6]. Hubungan antara piksel citra domain spasial X(i, j) dan transformasi domain koefisien Y(u, v) seperti persamaan berikut,

$$Y(u, v) = \frac{2c(u)c(v)}{\sqrt{MN}} \sum_x^M \sum_y^N X(i, j) \cos \left[\frac{(2i+1)}{2M} \right] \cos \left[\frac{(2j+1)}{2N} \right] \quad (4)$$

dimana pada persamaan 2.1 M merupakan baris, N merupakan kolom, u bernilai 0 sampai M-1, v bernilai 0 sampai N-1, dan $c(k)$ bernilai $\frac{1}{\sqrt{2}}$ jika k samadengan 0 dan bernilai 1 untuk k selain 0.

E. Singular Value Decomposition (SVD)

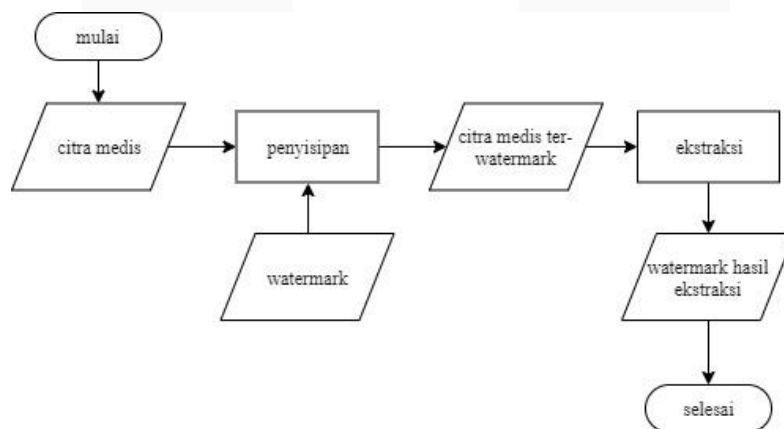
Singular Value Decomposition (SVD) merupakan metode matematis yang dimanfaatkan untuk mendiagonalisasi matriks untuk analisis matematis. SVD ini didesain untuk berbagai kebutuhan. SVD pun merupakan teorema dasar dari aljabar linear yang menyebutkan bahwa matriks persegi A dapat diuraikan menjadi tiga matriks yaitu matriks orthogonal U, matriks diagonal S, dan transpos dari matriks orthogonal V [6]. Teorema tersebut biasa direpresentasikan dengan persamaan berikut,

$$A = U * S * V^T \quad (5)$$

3. Perancangan Sistem Watermarking

A. Desain Sistem

Pada proses perancangan *medical image watermarking* ini, maka yang dijadikan sebagai citra host yaitu citra medis dan yang dijadikan sebagai data yang disisipkan atau watermark adalah citra biner.

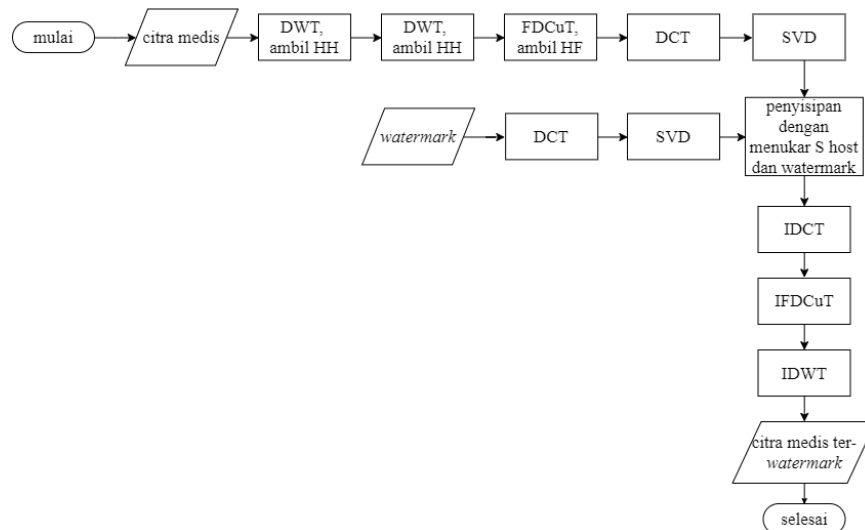


Gambar 2. Diagram blok utama *medical image watermarking*.

Pada penelitian ini sesuai dengan gambar 2 sistem dirancang menjadi dua bagian atau dua proses yang saling terkait satu dan lain, bagian pertama atau proses pertama yaitu proses penyisipan atau *embedding* dan proses kedua yaitu proses ekstraksi. Pada proses pertama yaitu proses penyisipan atau *embedding* akan menghasilkan suatu output yaitu *watermarked medical image* atau citra medis ter-watermark, hasil tersebut diperoleh dari penggabungan atau penyisipan sinyal citra *watermark* ke citra host atau pada penelitian ini yaitu citra medis. Setelah melalui proses penyisipan citra medis ter-watermark akan dilihat kualitasnya dengan perhitungan SNR, PSNR dan SSIM. Setelah proses penyisipan, proses kedua yaitu proses ekstraksi yang menghasilkan citra *watermark* kembali, kemudian dihitung BER dan NC dari hasil ekstraksi *watermark* tersebut.

B. Proses Embedding

Pada proses penyisipan atau *embedding*, dilakukan proses penyisipan sinyal citra *watermark* ke citra host yang berbentuk citra medis. Adapun diagram blok proses penyisipan *watermark* ditampilkan pada gambar 3.

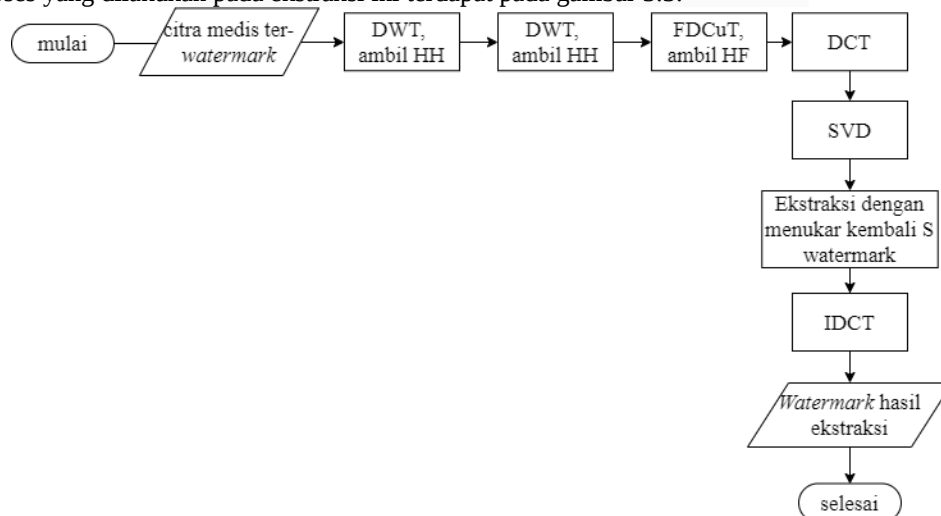


Gambar 3. Diagram blok penyisipan pada *medical image watermarking*.

Berikut merupakan langkah-langkah proses penyisipan sesuai pada gambar 3. Pertama lakukan dekomposisi citra host berupa citra medis menggunakan DWT menjadi empat sub-band yaitu LL, LH, HL, HH. Kemudian ambil frekuensi HH dari hasil dekomposisi tersebut. Setelah itu, gunakan citra biner sebagai citra *watermark* kemudian transformasikan menggunakan DCT. Lalu lakukan transformasi FDCuT kemudian DCT untuk HH band yang telah diambil sebelumnya dari citra host. Setelah itu, sisipkan citra *watermark* pada HH band tersebut. Lalu lakukan invers DCT, invers FDCuT untuk memperoleh HH band yang telah termodifikasi. Dan terakhir lakukan invers DWT untuk menghasilkan citra medis ter-*watermark*.

C. Proses Ekstraksi

Pada proses ekstraksi ini, citra medis ter-*watermark* akan diuraikan menjadi citra *watermark* kembali. Adapun proses yang dilakukan pada ekstraksi ini terdapat pada gambar 3.3.



Gambar 4. Diagram blok ekstraksi *medical image watermarking*

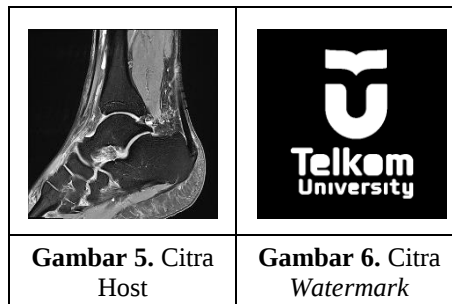
Berikut merupakan langkah-langkah proses ekstraksi sesuai pada gambar 4. Pertama lakukan dekomposisi pada citra medis ter-*watermark* menggunakan DWT menjadi empat *sub-bands*: LL, HL, LH, dan HH. Kemudian lakukan transformasi dengan FDCuT kemudian DCT untuk HH band. Lalu lakukan ekstraksi dari HH band tersebut menggunakan SVD. Terakhir konstruksikan kembali *watermark* dengan menggunakan invers DCT.

4. Simulasi Watermarking Citra

Pada sistem *watermarking* citra medis ini, dilakukan pengujian yaitu pengaruh metode yang digunakan terhadap nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR), *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) dan *Structural Similarity Index Metric* (SSIM). Penelitian ini menggunakan citra medis dengan ukuran 1024x2024 piksel seperti yang ditampilkan pada gambar 5. Pada penelitian ini pun dilakukan pengujian pengaruh metode yang digunakan terhadap nilai *Bit*

Error Rate (BER) dan *Normalized Correlation* (NC) dengan menggunakan dua citra *watermark* dengan ukuran 256x256 piksel seperti yang ditampilkan pada gambar 6.

Tabel 1. Citra *watermark*



A. Hasil Pengujian Watermarking tanpa Serangan



Pengujian ini dilakukan menggunakan citra host dengan ukuran 1024x1024 piksel dengan citra *watermark* berukuran 256x256 piksel. Kemudian dihitung nilai SNR, PSNR, dan SSIM awal untuk melihat kualitas dari citra ter-watermark ketika sebelum diberi serangan atau tanpa serangan. Adapun hasil penyisipan dan ekstraksi dapat dilihat pada gambar 7.

Gambar 7. Hasil watermarking tanpa serangan

Pada Tabel 2 adalah hasil dari pengujian *watermarking* tanpa serangan dengan menggunakan *watermark* A dan *watermark* B. Dari data pada Tabel 2 dihasilkan nilai rata-rata SNR, PSNR, SSIM, BER dan NC dari 18 jenis citra host yaitu nilai SNR sebesar 38,0249 dB, nilai PSNR sebesar 48,1081 dB, nilai SSIM sebesar 0,9929, nilai BER sebesar 0,0021 dan nilai NC sebesar 0,9926. Sedangkan nilai rata-rata hasil pengujian dengan menggunakan *watermark* B yaitu nilai SNR sebesar 39,3987 dB, nilai PSNR sebesar 49,4819 dB, nilai SSIM sebesar 0,9938, nilai BER sebesar 0,0028 dan nilai NC sebesar 0,9873.

Tabel 2. Hasil pengujian tanpa serangan

Tanpa Serangan	SNR (dB)	PSNR (dB)	SSIM	BER	NC
<i>watermark</i> A	38,0249	48,1081	0,99298	0,0021	0,99263
<i>watermark</i> B	39,3987	49,4819	0,99375	0,00279	0,98727

Hasil pengujian tersebut dapat menunjukkan bahwa *watermarking* dengan metode yang digunakan pada penelitian ini memiliki kualitas yang baik dengan nilai rata-rata PSNR diatas 45 dB, nilai rata-rata BER yang mendekati nilai 0 dan nilai rata-rata SSIM dan NC yang mendekati nilai 1.

B. Hasil Pengujian Watermarking dengan Serangan

Pengujian ini menggunakan enam jenis serangan yaitu *Noise Salt and Pepper*, *Filter Gaussian*, Kompresi JPEG, *Image Sharpening*, *Histogram equalization*, dan *flipping*.

a. Noise Salt and Pepper

Tabel 3. Hasil Pengujian menggunakan serangan *noise salt&pepper*

Density		SNR (dB)	PSNR (dB)	SSIM	BER	NC
0,0001	<i>watermark</i> A	32,8115	42,8947	0,99001	0,02199	0,92782
	<i>watermark</i> B	33,4407	43,8572	0,99098	0,01926	0,91976
0,001	<i>watermark</i> A	24,2964	34,3796	0,96441	0,16549	0,63362
	<i>watermark</i> B	24,3054	34,3886	0,96487	0,15684	0,61551

Pada tabel 3 merupakan hasil pengujian *watermaking* dengan serangan *noise salt and pepper* pada *watermark* A dan *watermark* B dengan *density* yang berbeda yaitu 0,0001 dan 0,001. Jika hasil tersebut dibandingkan dengan

hasil *watermarking* tanpa serangan, hasil tersebut menunjukkan bahwa pada serangan *noise salt and pepper* dengan *density* 0,001 kualitas *watermarking* yang didapat sudah semakin memburuk, dibuktikan dengan pengurangan nilai PSNR sebesar 29,53% dan NC sebesar 36,91% dari nilai PSNR dan NC pada *watermarking* tanpa serangan dibanding dengan pada *density* 0,0001 yang nilai PSNR hanya berkurang sebesar 11,12% dan nilai NC yang hanya berkurang sebesar 6,68%. Maka metode ini tidak bisa diserang oleh serangan *noise salt and pepper* dengan *density* 0,001 atau lebih besar. Maka dari hasil pengujian dan analisis tersebut dapat diketahui bahwa pengaruh nilai *density* pada serangan *noise salt and pepper* terhadap nilai SNR, PSNR, SSIM, BER dan NC adalah semakin rendah *density* yang digunakan, maka semakin baik nilai SNR, PSNR, SSIM, BER dan NC yang dihasilkan.

b. Filter Gaussian

Tabel 4. Hasil Pengujian menggunakan serangan filter gaussian

Sigma		SNR	PSNR	SSIM	BER	NC
0,1	watermark A	38,02489	48,10808	0,992983	0,002103	0,992633
	watermark B	39,39874	49,48193	0,99375	0,002794	0,987267
0,3	watermark A	38,02473	48,10792	0,992983	0,002098	0,992644
	watermark B	39,39823	49,48141	0,99375	0,002794	0,987261
0,5	watermark A	40,09433	50,17753	0,997044	0,104844	0,5859
	watermark B	40,60671	50,68988	0,997178	0,073778	0,624117

Tabel 4 merupakan hasil pengujian *watermarking* dengan serangan filter gaussian dengan *sigma* yang berbeda yaitu 0,1, 0,3 dan 0,5. Jika hasil tersebut dibandingkan dengan hasil *watermarking* tanpa serangan maka hasil tersebut menunjukkan bahwa pada serangan filter gaussian dengan *sigma* 0,5 kualitas *watermarking* yang didapat sudah semakin memburuk, dibuktikan dengan pengurangan NC sebesar 38,88% dari NC pada *watermarking* tanpa serangan, walaupun untuk kualitas PSNR masih sangat baik yaitu hanya turun sebesar 4,06% Maka metode ini tidak bisa diserang oleh serangan filter gaussian dengan *sigma* 0,5 atau lebih besar. Maka dari hasil pengujian dan analisis tersebut dapat diketahui bahwa pengaruh nilai *sigma* pada serangan filter gaussian terhadap nilai SNR, PSNR, SSIM, BER dan NC adalah semakin tinggi *sigma* yang digunakan, maka semakin baik nilai SNR, PSNR dan SSIM, tetapi semakin buruk nilai BER dan NC yang dihasilkan.

c. Kompresi JPEG

Tabel 5. Hasil Pengujian menggunakan serangan kompresi JPEG

Quality		SNR	PSNR	SSIM	BER	NC
75	watermark A	35,48481	45,56798	0,988778	0,125544	0,478594
	watermark B	35,74167	46,15818	0,989511	0,108472	0,365583
90	watermark A	35,94056	46,02374	0,988956	0,015389	0,945322
	watermark B	36,99313	47,07632	0,990283	0,018256	0,916239
100	watermark A	37,68078	47,76397	0,992222	0,002127	0,992506
	watermark B	38,94054	49,0793	0,993311	0,002828	0,987522

Tabel 5 merupakan hasil pengujian *watermarking* dengan serangan kompresi JPEG dengan *quality* yang berbeda yaitu 75, 90 dan 100. Jika hasil tersebut dibandingkan dengan hasil *watermarking* tanpa serangan maka hasil tersebut menunjukkan bahwa pada serangan kompresi JPEG dengan *quality* 75 kualitas *watermarking* yang didapat sudah semakin memburuk, dibuktikan dengan pengurangan NC sebesar 57,36% dari NC pada *watermarking* tanpa serangan, walaupun untuk kualitas PSNR masih sangat baik yaitu hanya turun sebesar 8% Maka metode ini tidak bisa diserang oleh serangan kompresi JPEG dengan *quality* 75 atau lebih kecil. Maka dari hasil pengujian dan analisis tersebut menunjukkan bahwa pengaruh nilai *quality* pada kompresi JPEG terhadap nilai SNR, PSNR, SSIM, BER dan NC adalah semakin tinggi *quality* yang digunakan, maka semakin baik nilai SNR, PSNR, SSIM, BER dan NC yang dihasilkan.

d. Image Sharpening

Tabel 6. Hasil Pengujian menggunakan serangan *image sharpening*

standar deviasi		SNR	PSNR	SSIM	BER	NC
1	watermark A	30,3354	40,4186	0,9768	0,146	0,9683
	watermark B	31,0521	41,1352	0,9782	0,1157	0,97
5	watermark A	19,1358	29,219	0,9215	0,1462	0,9605
	watermark B	19,1895	29,2727	0,922	0,1172	0,9616

Tabel 6 merupakan hasil pengujian *watermarking* dengan serangan *image sharpening*, jika dibandingkan dengan hasil *watermarking* tanpa serangan, maka hasil tersebut menunjukkan bahwa pada serangan *image sharpening* dengan standar deviasi 5 kualitas *watermarking* yang didapat masih baik, dibuktikan dengan pengurangan NC hanya sebesar 2,91% walaupun nilai PSNR semakin buruk, hal tersebut disebabkan karena serangan yang dilakukan membuat citra ter-*watermark* setelah diserang berubah, tetapi *watermark* masih dapat diekstraksi dengan hasil NC yang baik. Oleh karena itu, metode ini tahan terhadap serangan *image sharpening* dengan standar deviasi 1 dan 5. Maka dari hasil pengujian dan analisis tersebut menunjukkan bahwa pengaruh nilai standar deviasi pada serangan *image sharpening* terhadap nilai SNR, PSNR, SSIM, BER dan NC adalah semakin rendah nilai standar deviasi yang digunakan, maka nilai SNR, PSNR, SSIM, BER dan NC yang dihasilkan semakin baik.

e. Histogram Equalization

Tabel 7. Hasil Pengujian menggunakan serangan histogram *equalization*

Histogram <i>Equalization</i>	SNR	PSNR	SSIM	BER	NC
<i>watermark A</i>	13,3391	23,4223	0,8044	0,049	0,9511
<i>watermark B</i>	13,527	23,6105	0,8266	0,0353	0,9511

Tabel 7 merupakan hasil pengujian *watermarking* dengan serangan histogram *equalization*, jika dibandingkan dengan hasil *watermarking* tanpa serangan, maka hasil tersebut menunjukkan bahwa pada serangan histogram *equalization* kualitas *watermarking* yang didapat masih baik, dibuktikan dengan pengurangan NC hanya sebesar 3,92% walaupun nilai PSNR semakin buruk, hal tersebut disebabkan karena serangan yang dilakukan membuat citra ter-*watermark* setelah diserang berubah, tetapi *watermark* masih dapat diekstraksi dengan hasil NC yang baik. Oleh karena itu, metode ini tahan terhadap serangan histogram *equalization*.

f. Flipping

Tabel 8. Hasil Pengujian menggunakan serangan *flipping*

<i>Flipping</i>	SNR	PSNR	SSIM	BER	NC
<i>watermark A</i>	3,996	14,0762	0,5117	0,0799	0,7216
<i>watermark B</i>	3,9966	14,0798	0,5117	0,0851	0,6315

Tabel 8 merupakan hasil pengujian *watermarking* dengan serangan *flipping*, jika dibandingkan dengan hasil *watermarking* tanpa serangan, maka hasil tersebut menunjukkan bahwa pada serangan *flipping*, kualitas *watermarking* yang dihasilkan memburuk tetapi *watermark* masih dapat diekstrak, dibuktikan dengan pengurangan NC sebesar 31,66% walaupun nilai PSNR yang dihasilkan buruk yaitu turun sebesar 71,15% tetapi hal tersebut diakibatkan karena pada serangan *flipping* ini citra ter-*watermark* dibalikkan atau dicerminkan yang jelas akan berubah dari sebelum dilakukan serangan. Oleh karena itu, metode ini tahan terhadap serangan *flipping* karena *watermark* masih dapat diekstraksi dengan baik.

C. Hasil Perbandingan dengan Metode pada Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian ini dilakukan perbandingan *watermarking* citra medis dengan metode DWT-FDCuT-DCT dengan penelitian sebelumnya dengan metode yang berbeda yaitu metode DWT-DCT dan menggunakan metode FDCuT-DCT. Perbandingan yang dilakukan yaitu membandingkan nilai rata-rata dari PSNR dan NC yang dihasilkan dari proses *watermarking* yang dilakukan.

a. Perbandingan dengan metode DWT-DCT

Tabel 9. Perbandingan hasil PSNR dan NC dengan metode DWT-DCT

Parameter	Metode	
	DWT-FDCuT-DCT	DWT-DCT
PSNR	49,4819	43,1572
NC	0,9873	0,9994

Dari hasil perbandingan pada tabel 9 dapat diketahui bahwa metode pada penelitian ini menghasilkan rata-rata nilai PSNR yang lebih baik yaitu 49,4819 dibanding metode DWT-DCT yang menghasilkan rata-rata PSNR sebesar 43,1572. Sedangkan untuk parameter NC metode DWT-DCT menghasilkan nilai yang lebih baik yaitu 0,9994 dibanding metode DWT-FDCuT-DCT yang menghasilkan nilai NC sebesar 0,9873. Maka dari hasil perbandingan tersebut dapat diketahui bahwa metode DWT-FDCuT-DCT menghasilkan kualitas citra ter-*watermark* yang lebih baik dari metode DWT-DCT tetapi menghasilkan hasil ekstraksi yang sedikit lebih buruk yaitu berbeda 1,21%.

b. Perbandingan dengan metode FDCuT-DCT

Tabel 10. Perbandingan hasil PSNR dan NC dengan metode FDCuT-DCT

Parameter	Metode	
	DWT-FDCuT-DCT	FDCuT-DCT
PSNR	49,4819	49,3667
NC	0,9873	0,9617

Dari hasil perbandingan pada tabel 10 dapat dikatakan bahwa metode pada penelitian ini menghasilkan rata-rata nilai PSNR yang lebih baik yaitu 49,4819 dibanding metode DWT-DCT yang menghasilkan rata-rata PSNR sebesar 49,3667 dan untuk parameter NC metode pada penelitian ini pun menghasilkan nilai yang lebih baik yaitu 0,9873 dibanding metode FDCuT-DCT yang hanya menghasilkan nilai NC sebesar 0,9617. Maka dari hasil perbandingan tersebut dapat diketahui bahwa metode pada penelitian ini yaitu DWT-FDCuT-DCT memberikan hasil kualitas *watermarking* yang lebih baik dari metode FDCuT-DCT.

5. Kesimpulan

Setelah dilakukan pengujian dan analisis pada sistem *watermarking* citra medis menggunakan metode DWT-FDCuT-DCT maka dapat disimpulkan metode DWT-FDCuT-DCT dapat diimplementasikan sebagai metode dalam sistem *watermarking* citra medis dengan kualitas nilai rata-rata terbaik yang didapatkan yaitu SNR senilai 39,3987, PSNR senilai 49,4819, SSIM senilai 0,9938, BER senilai 0,0028 dan NC senilai 0,9873. Lalu saat pengujian menggunakan serangan diperoleh bahwa pada serangan *noise salt and pepper*, *watermarking* memiliki ketahanan dengan nilai *density* kurang dari 0,01 dan dapat disimpulkan bahwa semakin rendah nilai *density* yang digunakan maka semakin baik nilai SNR, PSNR, SSIM, BER dan NC yang dihasilkan. Pada serangan filter gaussian, *watermarking* memiliki ketahanan dengan nilai *sigma* kurang dari 0,5 dan dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai *sigma* yang digunakan maka semakin baik nilai SNR, PSNR dan SSIM yang dihasilkan. Pada serangan kompresi JPEG, *watermarking* memiliki ketahanan dengan nilai *quality* diatas 75 dan dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai *quality* yang digunakan maka semakin baik nilai SNR, PSNR, SSIM, BER dan NC yang dihasilkan. Pada serangan *Image Sharpening*, *watermarking* memiliki ketahanan pada nilai standar deviasi 1 maupun 5. Sistem *watermarking* ini pun tahan terhadap serangan histogram equalization dan flipping. Berdasarkan hasil perbandingan dengan metode pada penelitian sebelumnya pun dapat disimpulkan bahwa metode pada penelitian ini yaitu metode DWT-FDCuT-DCT memiliki kelebihan dibanding metode DWT-DCT dari segi nilai PSNR, dan lebih baik pula dari metode FDCuT-DCT dari segi nilai PSNR dan NC.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Mehto and N. Mehra, "Adaptive Lossless Medical Image Watermarking Algorithm Based on DCT & DWT," vol. 78, pp. 88–94, 2016.
- [2] S. M. Arora, "A DWT-SVD based Robust Digital Watermarking for Digital Images," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 132, pp. 1441–1448, 2018.
- [3] R. Thanki, S. Borra, V. Dwivedi, and K. Borisagar, "An efficient medical image watermarking scheme based on FDCuT–DCT," *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 20, no. 4, pp. 1366–1379, 2017.
- [4] P. N. Andono, *Pengolahan Citra Digital*. yogyakarta: Penerbit Andi, 2017.
- [5] D. Y. Apriliyana, D. Triantoro, F. Informatika, and U. Telkom, "Algoritma Discrete Wavelet Transform (DWT) dan Absolute Moment Block Truncation Coding (AMBTC) Pada Sistem Watermarking Untuk Deteksi dan Recovery Citra Medis," vol. 2, no. 2, pp. 6718–6725, 2015.
- [6] N. Rathi and G. Holi, "Securing Medical Images by Watermarking Using DWT-DCT-SVD," *Int. J. Comput. Trends Technol.*, vol. 12, no. 2, pp. 67–74, 2014.